



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การพัฒนารูปแบบระบบการผลิตกึ่งอัตโนมัติของโรงหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

A Development of semi-automated production systems for precast concrete factories

วชรภูมิ เบญจโอฬาร^{1*} ชาญชัย วงศ์ษา¹ วรณภา นามบุรณะ² อีทัต ดลวิชัย³ จิรเดช เศรษฐภูมิ¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

² สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

³ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

Vacharapoom Benjaoran^{1*} Chanchai Wongsas¹ Wannapa Naburana² Teetut Dolwichai³

Jiradet Settakhumpoo¹

¹ School of Civil Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology 111 University Avenue, Meung, Nakhonratchasima 30000

² School of Management Technology, Institute of Social Technology, Suranaree University of Technology 111 University Avenue, Meung, Nakhonratchasima 30000

³ School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology 111 University Avenue, Meung, Nakhonratchasima 30000

* Corresponding author.

E-mail: vacharapoom@sut.ac.th; Telephone: 0 44224172

วันที่รับบทความ 4 พฤษภาคม 2566; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 22 กรกฎาคม 2566; วันที่ตอบรับบทความ 31 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

การผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast concrete production) เป็นส่วนสำคัญของเทคโนโลยีการก่อสร้างแบบนอกสถานที่ (Off-site construction) กิจกรรมการก่อสร้างหลักถูกย้ายไปดำเนินการที่โรงงาน ที่สามารถจัดกระบวนการผลิตและสภาพแวดล้อมให้เกิดประสิทธิภาพสูงได้ การออกแบบกระบวนการผลิตของโรงหล่อจำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องจากขนาดและรูปร่างของพื้นที่ตั้ง การวิจัยนี้ได้ทดลองกำหนดพื้นที่ตั้งของโรงหล่อของบริษัทเอกชนหนึ่งที่ร่วมโครงการ เพื่อจัดวางผังและออกแบบกระบวนการผลิตให้สอดคล้องกับพื้นที่ซึ่งทำให้ได้โรงหล่อที่แบ่งออกเป็น 4 เลน เลนละ 9 แถว รวมทั้งการออกแบบเครื่องจักรช่วยงานให้เกิดการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติที่ใช้เงินลงทุนต่ำกว่าการใช้เทคโนโลยีจากต่างประเทศ โดยได้ผลลัพธ์เป็นรูปแบบการผลิต 2 วิธีคือ วิธีแบบหล่อหมุนเวียนพร้อมกันหลายเลน (Multi-lane Circulatory Pallet: MLCP) และวิธีแบบหล่อหมุนเวียนเส้นเดียว (Single-line Circulatory Pallet: SLCP) จากนั้นจึงวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี สุดท้ายเป็นการประมาณเงินลงทุนและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการก่อตั้งโรงหล่อใหม่นี้โดยภายใน 5 ปีจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 3.9 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR) 8.4 % และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) 4 ปี 2 เดือน ผลลัพธ์การออกแบบโรงหล่อใหม่ที่ได้ชี้ว่าสามารถเริ่มธุรกิจการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปได้ด้วยเงินลงทุนที่ต่ำกว่าได้และเหมาะสมกับศักยภาพของบริษัทก่อสร้างขนาดกลาง

คำสำคัญ

กระบวนการผลิต การก่อสร้างนอกสถานที่ การบริหารโรงงาน การผลิตกึ่งอัตโนมัติ คอนกรีตหล่อสำเร็จ

Abstract

Precast concrete component production is an important part of off-site construction technology. The main construction activities are substantially moved to the factory so that the production process and the environment can be managed to achieve higher efficiency. The design of the production process needs to consider all constraints related to the size and shape of the factory site. This research was conducted to determine the location of the factory on the land of a participating private company. The layout and the production process were designed in accordance with the area, which resulted in a factory that was divided into 4 lanes, 9 rows per lane, including the design of new machines to help achieve semi-automatic production with lower investment than the commercialized technology from abroad. As a result, there are 2 production methods, namely Multi-lane Circulatory Pallet (MLCP), and Single-line Circulatory Pallet (SLCP), then the advantages and disadvantages of each method are analyzed. Finally, it is an estimation of the investment and cost-effectiveness analysis of the establishment of this new factory. In five years, the factory is expected to yield a net present value (NPV) of 3.9 million baht, with an attractive internal rate of return (IRR) at 8.4%, and a payback period (PB) of 4 years and 2 months. The results of the new factory design indicate that the precast concrete production business can be initiated at a lower investment cost and suitable for the potential of medium-sized construction companies.

Keywords

factory management, off-site construction, precast concrete, production system, semi-automation

1. คำนำ

การก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Traditional on-site construction) คือการจัดหาวัสดุก่อสร้างและนำมาประกอบติดตั้งด้วยแรงงานที่สถานที่ตั้งของสิ่งก่อสร้างนั่นเอง (On-site) เพื่อให้ได้คุณภาพ รูปร่างและขนาดตรงตามแบบก่อสร้างทุกประการ แต่ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีการก่อสร้างแบบนอกสถานที่ (Off-site construction) คือการก่อสร้างด้วยการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนสิ่งก่อสร้างที่ถูกผลิตขึ้นแล้วที่โรงงาน (Prefabrication) นอกสถานที่ก่อสร้างนั้น [1] โครงสร้างของอาคารจะถูกออกแบบแยกออกเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ คาน เสา ผนัง พื้น เป็นต้น ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านี้หากเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ก็จะถูกหล่อในโรงหล่อก่อนแล้วจึงถูกขนส่งไปยังสถานที่ก่อสร้างเพื่อทำการประกอบติดตั้งให้ถูกตำแหน่งตามแบบก่อสร้าง ชิ้นส่วนคอนกรีตเหล่านี้จะถูกผลิตออกมาด้วยสายการผลิตแบบงานโรงงาน (Manufacturing work) ที่ใช้ขั้นตอนการผลิตพื้นฐานเหมือนกัน โดยจะอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมคุณภาพงานได้ดีและสะดวกกว่า จึงทำให้เทคโนโลยี Off-site prefabrication มีข้อดีมากมายที่เหนือกว่าการก่อสร้างแบบดั้งเดิม ทั้งสามารถลดต้นทุนและระยะเวลาของงานก่อสร้าง ลดการสูญเสียวัสดุและแรงงาน ลดอุปสรรคจากสภาพภูมิอากาศของสถานที่ทำงาน ลดงานสิ่งก่อสร้างชั่วคราว เช่น นั่งร้าน ค้ำยัน ลดความอันตรายและ

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของงานก่อสร้างได้ และเพิ่มคุณภาพและความสม่ำเสมอของงาน เพิ่มอัตราผลผลิตของการก่อสร้าง เพิ่มความเชี่ยวชาญของคณาจารย์ด้วยการผลิตแบบซ้ำ (Mass production) ทำให้เทคโนโลยีนี้ อาจจะกลายเป็นเทคโนโลยีหลักของอุตสาหกรรมก่อสร้างทั่วโลกในอนาคต

จากประโยชน์ด้านต่าง ๆ ของเทคโนโลยีนี้ จึงควรสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านจากการก่อสร้างแบบดั้งเดิมไปสู่การก่อสร้างแบบนอกสถานที่ โดยเฉพาะกลุ่มบริษัทก่อสร้าง SMEs (Small and Medium-sized Enterprises) ที่มีสัดส่วนจำนวนมากที่สุดในธุรกิจก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม อุปสรรคสำคัญของกลุ่มบริษัทก่อสร้าง SMEs ในการเริ่มใช้เทคโนโลยี off-site prefabrication คือเงินลงทุนสำหรับก่อสร้างโรงงานและจัดหาเครื่องจักรใหม่จะเป็นปริมาณที่เกินกว่าศักยภาพไปมาก และกลับจะกลายเป็นการเสียเปรียบกลุ่มบริษัทก่อสร้างรายใหญ่ที่สามารถลงทุนซื้อเทคโนโลยีนี้จากต่างประเทศได้ทันทีและทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานก่อสร้างที่ดีมากกว่ายิ่งขึ้นไปอีก

จากความท้าทายนี้ทำให้นักวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบใหม่ให้มีประสิทธิภาพ และต้องการเงินลงทุนต่ำสอดคล้องกับศักยภาพของกลุ่มบริษัทก่อสร้าง SMEs และเพื่อให้เกิดการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อให้อัตราผลผลิตของธุรกิจอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศเพิ่มมากขึ้น

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 เทคโนโลยีการก่อสร้างด้วยคอนกรีตสำเร็จรูป

งานก่อสร้างเป็นกลุ่มธุรกิจที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดอันหนึ่งของงานอุตสาหกรรม โครงการก่อสร้างต้องประสบกับสภาพต้นทุนเกินกว่าที่คาดการณ์และงานล่าช้ากว่าแผนอยู่เป็นประจำเสมอมา ทั้งยังเผชิญกับสภาวะขาดแคลนแรงงานฝีมืออย่างรุนแรงที่ส่งผลให้ต้นทุนค่าแรงสูงขึ้นแต่คุณภาพและประสิทธิภาพของผลงานที่ได้ลดลง ในขณะที่กลับมีความต้องการเร่งรัดผลงานให้แล้วเสร็จรวดเร็วยิ่งขึ้น คุณภาพผลงานและความปลอดภัยในการทำงานเพิ่มมากขึ้น และราคาที่ถูกลง [2]

เทคโนโลยีการก่อสร้างนอกสถานที่ (Off-site construction) เป็นนวัตกรรมการก่อสร้างที่มีศักยภาพสามารถตอบโจทย์กับสภาพปัญหาความกดดันสำคัญทุกด้านทั้งด้านต้นทุน เวลา คุณภาพ และความปลอดภัยได้พร้อมกัน จึงถูกจัดให้เป็นหนึ่งในห้านวัตกรรมที่มีศักยภาพในการพลิกโฉมอุตสาหกรรมก่อสร้าง ผลการวิเคราะห์เชิงลึกเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านต้นทุนของวิธีการก่อสร้างต่าง ๆ [3] พบว่า Off-site construction มีต้นทุนต่ำกว่าวิธีอื่นถึง 11%-32% นอกจากนี้ต้นทุนยังสามารถลดลงได้อีกจากการพัฒนาระบบบริหารจัดการให้ดียิ่งขึ้น เมื่อใช้ Off-site construction อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามการปรับใช้เทคโนโลยีนี้ในงานก่อสร้างของประเทศเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไปไม่รวดเร็วนัก ตามการปรับเปลี่ยนความเชื่อถือและการยอมรับของผู้บริโภค [4] รวมทั้งการขาดความรู้ความเข้าใจของผู้ประกอบการเองถึงจำนวนเงินลงทุนและผลตอบแทนที่คุ้มค่าในการปรับเปลี่ยนมาสู่เทคโนโลยีนี้ แต่จากการสำรวจล่าสุดพบว่าผู้บริโภคในประเทศไทยให้การตอบรับสิ่งก่อสร้างจากชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นอย่างดีและมีความเชื่อมั่นกับคุณภาพของงานมากขึ้นแล้ว [5, 6]

2.2 รูปแบบการจัดกระบวนการผลิต

2.2.1 ระบบการผลิตแบ่งตามคนงาน ระบบการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถแบ่งออกตามลักษณะการจัดกลุ่มคนงานเป็นสองระบบ [7] คือ

1. วิธีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน (Specialized production) ที่คนงานแต่ละกลุ่มจะทำงานเฉพาะขั้นตอนการ

ผลิตหนึ่งที่ตนเองเชี่ยวชาญเท่านั้น กับชิ้นงานทุก ๆ ชิ้น และส่งชิ้นงานให้กลุ่มคนงานที่เชี่ยวชาญงานในขั้นตอนถัดไปทำต่อไป เช่นนี้เรื่อยไปจนชิ้นงานแต่ละชิ้นถูกดำเนินการครบทุกขั้นตอน โดยคนงานแต่ละกลุ่มมักจะดำเนินการประจำที่ (Working station) ของตนเอง ตัวชิ้นงานเองจึงจะเป็นฝ่ายที่ต้องเคลื่อนไปตามสายการผลิต ระบบนี้ทำให้กลุ่มคนงานทำเนื้องานซ้ำ ๆ เดิมจนเป็นทักษะเฉพาะด้าน และไม่สูญเสียเวลาจากการเคลื่อนที่

2. วิธีความสามารถรอบด้าน (Comprehensive production) ที่คนงานแต่ละกลุ่มจะทำงานกับชิ้นงานชิ้นหนึ่งตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนแล้วเสร็จ คนงานจึงต้องมีความเชี่ยวชาญรอบด้านกับทุกขั้นตอนที่ต้องทำ ทำให้อาจมีค่าแรงที่สูงกว่าและอาจแบ่งกลุ่มคนงานให้มีหลายกลุ่มเพื่อทำชิ้นงานหลายชิ้นพร้อม ๆ กัน วิธีนี้จะมีสายการผลิตที่สั้นกว่าหรือชิ้นงานอยู่กับที่ [8]

2.2.2 ระบบการผลิตแบ่งตามแบบหล่อ แต่หากพิจารณาที่ตัวชิ้นงานจะสามารถแบ่งออกตามลักษณะการจัดแบบหล่อเป็นสองระบบ [9] คือ

1. วิธีแบบหล่ออยู่กับที่ (Stationary Pallet) เป็นการจัดวางตำแหน่งแบบหล่อชิ้นงานนิ่งอยู่กับที่ โดยพื้นแบบหล่อเป็นฐานหลักที่ถูกกำหนดให้ราบเรียบและอยู่แนวระดับ วิธีนี้มักยกพื้นแบบหล่อที่เรียกว่าโต๊ะแบบ ขึ้นสูงจากระดับพื้นดินและวางไปตามความยาวของพื้นที่ เพื่อให้เครื่องจักรเข้าถึงได้สะดวกด้วยระบบรางที่วางคู่ขนานไปกับโต๊ะแบบ นิยมใช้กันกับโรงหล่อแบบดั้งเดิมทั่วไปเนื่องจากใช้เงินลงทุนต่ำแต่ก็ต้องพึ่งพาแรงงานอยู่มาก

2. วิธีแบบหล่อหมุนเวียน (Circulatory Pallet) เป็นการใช้แบบหล่อที่แยกอิสระแต่ละอัน เรียกว่า โต๊ะหล่อ (Pallet) เป็นโครงสร้างเฟรมทำด้วยเหล็กรูปพรรณ เพื่อเคลื่อนที่ไปตาม Working station ต่าง ๆ ตามลำดับ จากขั้นตอนแรกจนกระทั่งแล้วเสร็จโดยโต๊ะหล่อจะเคลื่อนที่วนรอบโรงหล่อ และกลับมาเริ่มการทำงานรอบใหม่ โดยเครื่องจักรและคนงานจะอยู่กับที่ประจำแต่ละสถานีหรือเคลื่อนที่น้อยที่สุด ปัจจุบันวิธีแบบหล่อหมุนเวียนนี้ถูกออกแบบให้เป็นระบบการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automation) ได้ และมีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงมาก เช่น Vollert.de [10] Weckenmann.com [11] เป็นต้น

2.3 กระบวนการผลิตชิ้นส่วน

โดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐานเหมือนกัน (Routines) 8 ขั้นตอนตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนเหล่านี้อาจจะถูกจัดเป็นแต่ละ Working station ที่ใช้คนงานคนละกลุ่มและจัดให้มีเครื่องจักรและอุปกรณ์เฉพาะที่ต้องใช้สำหรับแต่ละงาน แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้ [7]

1. ทำความสะอาดแบบหล่อ (Cleaning) จากการใช้หล่อในครั้งก่อน เพื่อให้มีสภาพพร้อมสำหรับใช้หล่อในรอบใหม่ต่อไป

2. ประกอบแบบหล่อ (Shuttering) โดยนำแบบข้างประกอบยึดกันตามรูปร่างและขนาดของชิ้นงานที่กำลังจะผลิต และยึดกับพื้นแบบหล่อที่เป็นฐานอย่างมั่นคงและแข็งแรงเพียงพอกับการทำงานขั้นตอนต่อไป

3. วางเหล็กเสริมและชิ้นส่วนฝังในเนื้อ (Placing) โดยนำเหล็กเสริมทั้งหมดและชิ้นส่วนอื่น ๆ เช่น ท่อสายไฟ ท่อลอด เป็นต้น วางลงในแบบหล่อที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแบบก่อสร้างอย่างถูกต้องและครบถ้วน ขั้นตอนนี้ต้องใช้ความละเอียดรอบคอบและต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องก่อนทำขั้นตอนถัดไป

4. เทคอนกรีต (Pouring) นำคอนกรีตสดเทลงในแบบหล่อให้เต็ม พร้อมทั้งการเขย่าหรือจี้ให้เนื้อแน่นเต็มทั่วทั้งแบบหล่อ

5. ชัดหน้าชิ้นงาน (Trowelling) เมื่อคอนกรีตแข็งตัวเบื้องต้นจะทำการชัดหน้าชิ้นงานให้เรียบมัน ตามระดับความเรียบที่ต้องการ

6. บ่มชิ้นงานคอนกรีต (Curing) ทิ้งชิ้นงานไว้เป็นระยะเวลาที่กำหนดเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัวจนได้กำลังระยะแรกตามที่ต้องการ

7. ถอดแบบหล่อ (Stripping) แกะแบบข้าง (Side mould) ออกจากชิ้นงานที่แข็งตัวแล้วและตรวจสอบความสมบูรณ์ของชิ้นงาน เพื่อซ่อมแซมตามเหมาะสม

8. เก็บรักษาชิ้นงาน (Storage) ยกชิ้นงานที่สมบูรณ์แล้วออกจากพื้นแบบหล่อ และย้ายไปเก็บรักษาไว้ในพื้นที่กองเก็บเพื่อบ่มคอนกรีตต่อไปและรอการขนย้ายไปสถานที่ก่อสร้าง

2.4 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนาและประยุกต์โดยใช้กรณีศึกษาเป็นบริษัทก่อสร้างขนาดกลางหนึ่งที่ต้องการเริ่มต้น

ธุรกิจผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปขึ้นเอง มีเป้าหมายเพื่อออกแบบโรงหล่อและเครื่องจักรช่วยงานที่จำเป็นรูปแบบใหม่ที่สอดคล้องกับศักยภาพของบริษัท โดยจะเป็นการผสมผสานข้อดีของระบบการผลิตในปัจจุบัน 2 รูปแบบคือโรงหล่อแบบดั้งเดิมและแบบกึ่งอัตโนมัติ และกำหนดตำแหน่งที่ตั้งและจัดวางผังของโรงหล่อให้สอดคล้องกับสภาพเงื่อนไขของพื้นที่ที่ตั้งจริงและเกิดประสิทธิภาพสูง สุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุนก่อตั้งโรงหล่อใหม่นี้ ที่เหมาะสำหรับบริษัทก่อสร้างขนาดกลาง โดยแบ่งงานออกเป็น 4 ด้านคือ การออกแบบโครงสร้างโรงหล่อทางวิศวกรรมโยธา การออกแบบเครื่องจักรทางวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ การออกแบบกระบวนการผลิต และการประเมินความคุ้มค่าทางธุรกิจ

3. ผลการวิจัย

ผลลัพธ์งานออกแบบทางวิศวกรรมต่อไปนี้ไม่เพียงแต่ถูกออกแบบโดยเฉพาะเจาะจงให้สอดคล้องกับเงื่อนไขของบริษัทที่ร่วมโครงการ แต่ยังสามารถนำไปปรับใช้กับผู้ประกอบการรายอื่น ๆ ที่สนใจได้

3.1 ผังบริเวณโรงหล่อ

ที่ตั้งของโรงหล่อใหม่ที่เป็นกรณีศึกษาตั้งอยู่ที่อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดโดยประมาณ 38x124 เมตรหรือ 3 ไร่ รูปร่างของที่ดินที่แคบแต่ยาวมากเหมาะสำหรับการใช้เป็นโรงหล่อ และทางเข้าออกติดกับถนนหลักทางด้านที่สี่ด้าน ขนาดและรูปร่างของพื้นที่จะเป็นเงื่อนไขสำคัญในการออกแบบกระบวนการผลิตและการจัดวางตำแหน่งและจำนวนเครื่องจักรต่าง ๆ ซึ่งจะกำหนดกำลังผลิตของโรงหล่อนี้อีกด้วย ผลลัพธ์ผังบริเวณที่ออกแบบแบ่งพื้นที่ทั้งหมดของโรงหล่อเป็น 6 ส่วน ซึ่งสิ่งอำนวยความสะดวก (Facilities) เหล่านี้จำเป็นต่อกระบวนการผลิต ตามรูปที่ 5

1. ลานหล่อ (Casting Yard) เป็นพื้นที่ใช้ผลิตจึงมีขนาดใหญ่ที่สุด ทำด้วยโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 20x75 เมตร ไปตามแนวยาวของพื้นที่ แบ่งตามความกว้างออกเป็น 4 เลน (Lane) แต่ละเลนแบ่งออกเป็น 9 แถว (Row) รวมได้สูงสุด 36 สล็อต สำหรับวางโต๊ะหล่อ (Pallet) สามารถรองรับน้ำหนักต่าง ๆ จากกระบวนการผลิตและบางตำแหน่งจะมีฐานรากสำหรับรองรับเครื่องจักรเฉพาะทางต่าง ๆ

2. โรงประกอบเหล็ก (Workshop) เป็นโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 22x41 เมตร ที่มีหลังคาคลุมเป็นโครงถักทำด้วยเหล็กรูปพรรณและแผ่นเมทัลชีท ยกสูง 12 เมตร ใช้สำหรับทำงานเกี่ยวกับงานเหล็กเสริม งานแบบหล่อคอนกรีต งานบำรุงรักษาเครื่องจักร ที่พักผ่อนสำหรับคนงาน และยังใช้สำหรับเก็บรักษาสถูต่าง ๆ ที่ใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับการผลิตชิ้นส่วน จัดวางตำแหน่งอยู่ด้านในสุดของพื้นที่

3. ลานเก็บ (Stockyard) เป็นโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 25x25 เมตร สามารถกองเก็บสินค้าแบบแผ่นในแนวตั้งได้เป็นจำนวนมาก ประมาณ 500 แผ่น เพื่อการบ่มคอนกรีตของชิ้นงานให้ได้อายุ และเก็บรักษาเพื่อรอการขนานำออกไปประกอบติดตั้ง โดยลานเก็บนี้จะต้องสามารถเข้าถึงได้สะดวกเพื่อเคลื่อนย้ายสินค้าทั้งหมดเข้าและออกตลอดเวลา จึงจัดให้อยู่ด้านหน้าติดถนนทางเข้าและมีความกว้างยาวมากพอสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่

4. ทางลาดยกระดับ (Ramp) เป็นโครงสร้างแบบโครงถักเหล็กรูปพรรณและปูพื้นทางด้วยแผ่นคอนกรีตอัดแรง ขนาด 4x22 เมตร ที่ยกระดับขึ้นสูง 0.85 เมตร ใช้สำหรับเป็นพื้นทางให้รถบรรทุกคอนกรีตผสมเสร็จขับขึ้นไปเพื่อการเทคอนกรีตสดในกระบวนการผลิต

5. ถนนภายใน (Access Road) เป็นโครงสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 11x124 เมตร เป็นถนนกว้าง 2 เลนซึ่งจัดวางให้ยาวไปตามพื้นที่ดิน ใช้สำหรับเป็นถนนสำหรับรถบรรทุกต่าง ๆ ที่นำเข้าวัสดุที่ใช้ในการผลิตและขนออกสินค้าไปจำหน่าย ถนนภายในนี้จึงต้องเชื่อมต่อการเข้าถึงสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นทั้งหมด

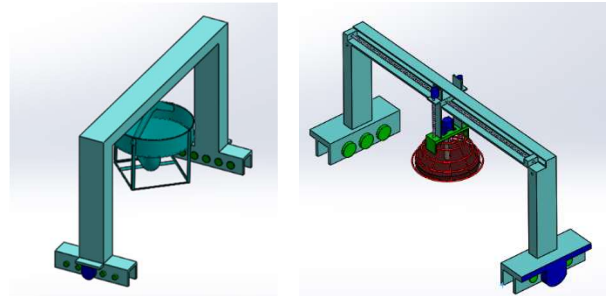
6. อาคารสำนักงาน (Administrative Office) เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 14x10 เมตร ใช้สำหรับงานบริหารและธุรการต่าง ๆ

3.2 เครื่องจักรการผลิต

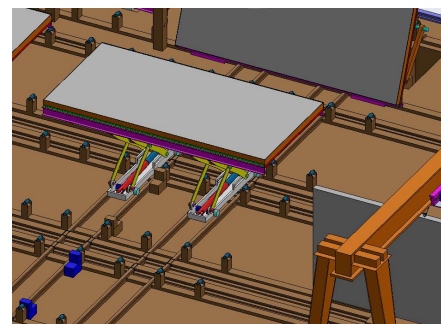
ผลลัพธ์การออกแบบทางวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ของโรงหล่อใหม่นี้ ประกอบด้วยเครื่องจักรที่ช่วยงานตาม Working stations ต่าง ๆ เพื่อให้เกิดกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติรวม 7 รายการดังนี้

1. บันจันเหนือหัว (Gantry Crane: GC) เป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ โดยคร่อมทั้ง 4 เลน และสามารถขับเคลื่อนตัวเอง

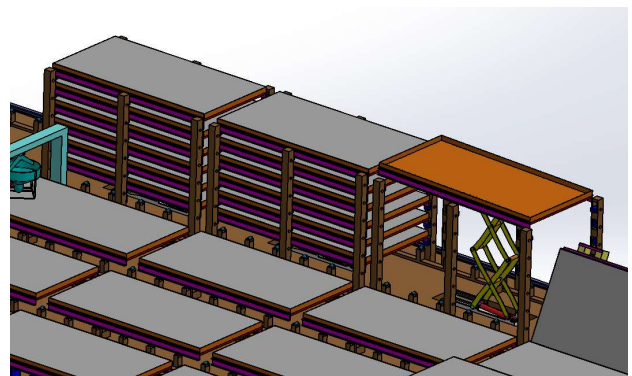
ไปตามรางหลักที่วางพาดตามแนวยาวของลานหล่อ สำหรับการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งที่มีน้ำหนักมาก ที่ถูกใช้บริการทั่วทั้งลานหล่อ โดยเฉพาะการยกชิ้นส่วนออกจากโต๊ะหล่อแล้วย้ายจากลานหล่อไปที่ลานเก็บ GC เป็นเครื่องจักรมาตรฐานที่มีจำหน่ายและใช้กันทั่วไป จึงไม่ต้องออกแบบใหม่



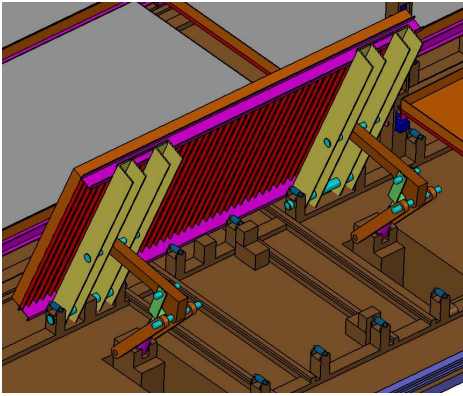
รูปที่ 1 เครื่องเทคอนกรีต (CS) และเครื่องขีดหน้าคอนกรีต (TR)



รูปที่ 2 ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนและล้อเลื่อน (DMR) และเครื่องยกเลื่อนข้าง (SS)



รูปที่ 3 ระบบยกและระบบรองรับของหอบ่มคอนกรีต (CC)



รูปที่ 4 เครื่องเอียงแบบหล่อ (TL)

2. เครื่องเทคอนกรีต (Concrete Spreader: CS) ประกอบขึ้นจากถังคอนกรีตและโครงสร้างเฟรมเหล็ก ที่สามารถขับเคลื่อนตัวเองไปตามรางย่อยที่ล้อมแต่ละเลนการผลิต ใช้สำหรับการรับส่งคอนกรีตสดที่ปล่อยจากรถบรรทุกคอนกรีตที่อยู่บน Ramp แล้วนำไปเทลงแบบหล่อตาม Pallets ต่าง ๆ ตามรูปที่ 1

3. เครื่องขัดหน้าคอนกรีต (Trowelling Machine: TR) ประกอบขึ้นจากโครงสร้างเฟรมเหล็กที่รองรับเครื่องขัดหน้าคอนกรีตทั่วไปและสามารถบังคับหัวขัดให้เคลื่อนที่ในแนวระดับ เหนือ-ใต้-ออก-ตก ได้อย่างแม่นยำ และปรับระดับในแนวดิ่งได้อย่างแม่นยำด้วยสำหรับกรณีชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถขับเคลื่อนตัวเองไปตามรางย่อยที่ล้อมแต่ละเลนการผลิต ใช้สำหรับการขัดหน้าชิ้นงานที่ Pallets ต่าง ๆ ให้เรียบมันตามที่กำหนด แสดงในรูปที่ 1

4. ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนและล้อเลื่อน (Drive Motors and Rollers: DMR) เป็นชุดกลไกสำหรับรับรอน้ำหนักของ Pallet พร้อมทั้งขับเคลื่อน Pallet ให้เคลื่อนที่ไปตามแนวยาวของแต่ละเลนไปหรือกลับได้สองทิศทาง จาก Row 1 ไป 9 โดยอยู่ประจำทุกสล็อตรวมทั้งหมด 36 สล็อต DMR นี้จะต้องทำงานสอดคล้องกันเพื่อให้เกิดการหมุนเวียน Pallet รอบลานหล่อโดยการนำส่งแต่ละ Pallet จาก Working station หนึ่งไปที่อีกอันถัดไปได้ โดยไม่ชนกันเอง แสดงในรูปที่ 2

5. เครื่องยกเลื่อนข้าง (Side Shifter: SS) ประกอบจากโครงสร้างเฟรมเหล็กที่ปรับระดับขึ้นลงในแนวดิ่งได้ เพื่อสำหรับรองรับและขนย้าย Pallet จากเลนหนึ่งไปอีกเลนหนึ่ง โดย SS สามารถขับเคลื่อนตัวเองไปตามรางเฉพาะของตัวเอง

ผ่านเลนต่าง ๆ ในแนวขวางกับพื้นที่ลานหล่อ ถูกจัดวางประจำอยู่ที่ปลายของเลน ทั้งด้านหัวและท้าย รวมจำนวน 2 เครื่อง และต้องทำงานประสานกับ DMR เพื่อให้ Pallet สามารถเคลื่อนที่เป็นวงรอบได้สมบูรณ์ ตามรูปที่ 2

6. หออบคอนกรีต (Curing Chamber: CC) ประกอบจากโครงสร้างเฟรมเหล็กที่มีความสูงและแข็งแรงเพื่อรองรับน้ำหนักของ Pallet จำนวนหลายอันที่วางเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ในแนวดิ่งรวม 6 - 8 ชั้น จากบนลงล่างตามลำดับ ด้วยการใช้ชุดยกแม่แรงไฮดรอลิกสำหรับการลำเลียงขึ้นลงในแนวดิ่งเมื่อยกได้ตำแหน่งแล้วจึงใช้สลักยึด Pallets เข้ากับโครงสร้างเสาของหอ โดย Pallet ที่มีชิ้นงานเหล่านี้จะถูกพักไว้ที่ CC นี้ข้ามคืน เพื่ออบคอนกรีตให้ได้กำลังตามต้องการ หลังจากนั้น Pallet จึงถูกลำเลียงออกจาก CC โดยไสล่ลำดับจากล่างขึ้นข้างบน เพื่อนำชิ้นงานไปสู่ Working station ถัดไป ในโรงหล่อนี้จะมี CC อยู่ทั้งสิ้น 3 เครื่องเพื่อรองรับกับจำนวน Pallet ทั้งหมดที่มี แสดงในรูปที่ 3

7. เครื่องเอียงแบบหล่อ (Tilting Machine: TL) ประกอบขึ้นจากโครงสร้างเฟรมเหล็กและชุดกระบอกระบบไฮดรอลิก 2 อันที่ตำแหน่ง 2 ข้าง สามารถรองรับน้ำหนักของ Pallet พร้อมชิ้นงาน 1 โต๊ะได้ และจับพลิกเอียงเป็นมุม 80 องศาได้อย่างมั่นคง เพื่อให้สามารถยกชิ้นงานออกจากแบบหล่อได้อย่างนุ่มนวลปลอดภัย ลดความเสียหายของชิ้นงานและสามารถยืดระยะเวลาการรอคอยความแข็งแรงของคอนกรีตลงได้เนื่องจากมุมเอียงจะช่วยลด Bending moment ที่จะเกิดกับชิ้นงานที่เพิ่งผลิตใหม่ลงได้มาก แสดงในรูปที่ 4

3.3 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติของโรงหล่อใหม่ถูกออกแบบขึ้นใหม่ภายใต้ข้อจำกัดด้านพื้นที่ตั้ง และจากการวิเคราะห์ข้อดีข้อด้อยของกระบวนการผลิตที่มีใช้กันอยู่ทั้งแบบดั้งเดิมที่พึ่งพาแรงงานสูง และแบบกึ่งอัตโนมัติที่ต้องลงทุนกับเทคโนโลยีจากต่างประเทศ เพื่อให้การผลิตมีประสิทธิภาพสูงเหมาะสมกับศักยภาพของบริษัทขนาดกลาง ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นกระบวนการผลิตใหม่ 2 รูปแบบ ที่จะจัดกลุ่มคนงานด้วยวิธีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน (Specialized production) ประจำแต่ละขั้นตอนพื้นฐานทั้ง 8 routines ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.3.1 วิธีแบบหล่อหมุนเวียนพร้อมกันหลายเลน (Multi-lane Circulatory Pallet: MLCP)

เป็นรูปแบบที่พัฒนาขึ้นจากวิธีแบบหล่อหมุนเวียน (Circulatory Pallet) เป็นการผลิตที่คนงานดำเนินการประจำที่ (Working station) ของตนเอง โดยจัดให้เลน 1 ถึง 3 เป็นเลนที่ทำการผลิตไปพร้อม ๆ กันได้ จึงเพิ่มอัตราผลผลิต ส่วนเลนที่ 4 ที่เหลือ ใช้สำหรับบ่มคอนกรีต ถอดแบบ และลำเลียงโตะหล่อเปล่าที่ถอดชิ้นงานออกแล้วย้อนกลับไปจุดเริ่มต้น ซึ่งจะทำให้ใช้ลานหล่อเพื่อการผลิตได้มากถึง 24 สล็อต ทำให้ได้อัตราการผลิตสูง แต่ก็ต้องการใช้เครื่องจักรหลายชุดด้วย

วิธี MLCP นี้สามารถวางแผนรอบการผลิตให้การทำงาน 1 รอบแล้วเสร็จครบทั้ง 8 ขั้นตอนพื้นฐานได้ภายใน 24 ชั่วโมง โดยแบ่งออกเป็น 8 ชั่วโมงทำงาน และอีก 16 ชั่วโมงสำหรับบ่มคอนกรีต ดังต่อไปนี้ (แสดงผังในรูปที่ 5 และแผนงานในตารางที่ 1)

ชั่วโมงที่ 0: เมื่อเริ่มต้นรอบการทำงานประจำวัน โตะหล่อทั้งหมดจะมีชิ้นงานที่ผลิตเมื่อวานอยู่ในแบบหล่อที่เรียงซ้อนกันในหอ CC เพื่อบ่มคอนกรีตให้ได้กำลังเริ่มต้นมากพอที่จะถอดแบบออกได้ ขั้นตอนแรกจึงเริ่มการถอดแบบหล่อ (Stripping) ซึ่งเป็นแบบหล่อข้าง (side mould) ในเลนที่ 4 จากแถวที่ 4 และ 5 จากนั้นชิ้นงานจึงถูกยกเอียงด้วยเครื่อง TL ที่อยู่ประจำที่เลนที่ 4 แถวที่ 3 เพื่อถอดออกจากโตะหล่อ แล้วจากนั้น GC จึงนำชิ้นงานไปกองเก็บที่ลานเก็บ

ชั่วโมงที่ 1: ทำขั้นตอนการถอดแบบหล่อ ยกเอียงและเคลื่อนย้ายชิ้นงานไปกองเก็บโดยโตะหล่อที่มีชิ้นงานที่เรียงซ้อนกันอยู่ใน CC จะถูกทยอยนำออกมาที่ละอัน และที่ละหอตามลำดับจนหมดทั้ง 3 หอ

ชั่วโมงที่ 2: โตะหล่อว่างที่ชิ้นงานเพิ่งถูกถอดออกไป จะเข้าสู่ขั้นตอนทำความสะอาดแบบหล่อ (Cleaning) ที่ละอันไล่ไปตามลำดับ โดยขั้นตอนนี้จะอยู่ประจำที่เลนที่ 4 แถวที่ 1 และ 2 ซึ่งอยู่ในบริเวณโรงประกอบเหล็ก (Workshop)

ชั่วโมงที่ 3: โตะหล่อที่สะอาดแล้วจะถูกลำเลียงต่อในแนวขวางด้วยเครื่อง SS และตามแนวยาวด้วยชุด DMR ไปสู่ด้านต้นของเลนที่ 1 ถึง 3 บริเวณแถวที่ 1 ถึง 3 เพื่อทำขั้นตอนการประกอบแบบหล่อ (Shuttering) พร้อมกันทั้ง 3 เลน และไล่หลังเช่นนี้เรื่อยไป ทำให้เกิดอัตราการผลิตที่สูง

ชั่วโมงที่ 4: จากนั้นเป็นขั้นตอนการวางเหล็กเสริมและชิ้นส่วนฝังในเนื้อ (Placing) ตามแบบก่อสร้างของชิ้นงานแต่ละชิ้น ขั้นตอนนี้จะอยู่ประจำที่เลนที่ 1 ถึง 3 แถวที่ 1 ถึง 8 ซึ่งโตะหล่อทั้งหมดถูกวางพักไว้

ชั่วโมงที่ 5: ต่อไปคือขั้นตอนการเทคอนกรีต (Pouring) โดยใช้คอนกรีตสดผสมเสร็จที่ซื้อจากภายนอกด้วยรถขนส่งคอนกรีตสด ซึ่งรถขนส่งคอนกรีตต้องขึ้นพังก (Ramp) ที่อยู่ด้านปลายของเลน เพื่อยกระดับรถให้สูงพอสำหรับการเทคอนกรีตจากรถลงสู่เครื่อง CS ที่มีประจำอยู่ในแต่ละเลนที่ 1 ถึง 3 แล้ว จากนั้น CS จึงลำเลียงคอนกรีตสดต่อไปตามรางย่อยเฉพาะของแต่ละเลนเพื่อเทลงสู่แบบหล่อที่เตรียมพร้อมไว้แล้ว ตามลำดับก่อนหลังของโตะหล่อ

ชั่วโมงที่ 6 ถึง 7: หลังจากชิ้นงานที่เทคอนกรีตแล้วถูกทิ้งไว้เป็นระยะเวลาสักหนึ่งชั่วโมง จึงทำขั้นตอนการขัดหน้าชิ้นงาน (Trowelling) ด้วยเครื่อง TR ที่เคลื่อนที่ตามรางย่อยและมีอยู่ประจำของแต่ละเลน เครื่อง TR จะทยอยขัดหน้าชิ้นงานของแต่ละโตะหล่อ สลับกับการปล่อยทิ้งไว้ เป็นรอบ ๆ หลายรอบ จนกระทั่งได้ผิวหน้าชิ้นงานตามต้องการ

ชั่วโมงที่ 8 ถึง 24: จากนั้นโตะหล่อจะถูกเคลื่อนย้ายด้วย DMR และ SS เพื่อลำเลียงเข้าสู่ CC ตามลำดับที่ละหอจนครบเต็มทั้ง 3 หอ และสุดท้ายชิ้นงานทุกชิ้นจึงถูกปล่อยทิ้งไว้บนโตะหล่อเช่นนั้นโดยไม่ได้เคลื่อนที่ เพื่อทำการบ่มชิ้นงานคอนกรีต (Curing) ข้ามคืนจนกระทั่งเป็นวันทำงานถัดไป จึงวนสู่รอบการผลิตใหม่ของอีกวัน

3.3.2 วิธีแบบหล่อหมุนเวียนเส้นเดียว (Single-line Circulatory Pallet: SLCP)

เป็นอีกรูปแบบที่พัฒนาขึ้นจากวิธี MLCP เพื่อหลีกเลี่ยงการทับซ้อนกันของเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรในวิธี MLCP โดยจัดให้โตะหล่อเคลื่อนที่เรียงหัวต่อท้ายกันเพียงเส้นทางเดียวจากจุดเริ่มต้นที่เลนที่ 1 ไป 3, 4 และ 2 จนวนกลับมาที่เดิม คล้ายรูปตัวเลข 8 ตามข้อจำกัดของสภาพพื้นที่ทำให้ใช้พื้นที่การผลิตได้รวม 18 สล็อต หากมากกว่านี้อาจจะทำให้หัวแถวมาชนท้ายแถวตัวเองจนไปต่อไม่ได้ การจัดเส้นทางเคลื่อนที่วนรอบเช่นนี้จะทำให้โตะหล่อเข้าถึง Workshop และ Access Road ได้ดีกว่าจึงปฏิบัติงานได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้อัตราผลผลิตสูงขึ้น และยังต้องการใช้จำนวนเครื่องจักรน้อยที่สุด จึงใช้เงิน

ลงทุนต่ำลง รอบการผลิตประจำวัน (24 ชั่วโมง) ของวิธี SLCP จะสามารถทำงานได้ครบ 1 รอบเช่นกัน ดังต่อไปนี้ (แสดงผังในรูปที่ 5 และแผนงานในตารางที่ 2)

ชั่วโมงที่ 0: เมื่อเริ่มต้นรอบการทำงานประจำวัน โตะหล่อ
ทั้งหมดจะมีชิ้นงานที่ผลิตเมื่อวานอยู่ในแบบหล่อที่เรียงซ้อนกัน
ในหอ CC ที่อยู่ติดกันในของลานหล่อที่ตำแหน่งเลนที่ 1 แถวที่

2 ถึง 4 แตกต่างจากวิธี MLCP ทั้งนี้เพื่อให้ปลอดภัยจากการรบกวน โต้ะหล่อที่มีชิ้นงานแต่ละอันจะถูกทยอยลำเลียงลงจาก CC และเคลื่อนย้ายต่อด้วย DMR ตามลำดับจนหมดทั้ง 3 หอ เพื่อนำชิ้นงานไปสู่ขั้นตอนการทำงานแรก



รูปที่ 5 ผังบริเวณของวิธีแบบหล่อหมุนเวียนพร้อมกันหลายเลน (MLCP) และวิธีแบบหล่อหมุนเวียนเส้นเดียว (SLCP)

ตารางที่ 1 แผนการผลิตประจำวันด้วยวิธีแบบหล่อหมุนเวียนพร้อมกันหลายเลน (MLCP)

Routines	Lane	Row	Workers	Machines	Daily working hours								Non-WH 9 - 24	Productivity (Pallets/hour)	Start (Hour)	Finish (Hour)
					1	2	3	4	5	6	7	8				
1. Stripping	4	3 - 5	G1	GC									6	0.0	4.0	
2. Storage	Stockyard		G1	GC, TL									6	0.0	4.0	
3. Cleaning	4	1 - 2	G2	SS									8	1.0	4.0	
4. Shuttering	1 - 3	1 - 3	G2	GC								8	1.0	4.0		
5. Placing	1 - 3	1 - 8	G3	GC, SS									6	2.0	6.0	
6. Pouring	1 - 3	1 - 8	G4	AR									8	3.0	6.0	
7. Trowelling	1 - 3	1 - 8	G4	TR									6	4.0	8.0	
8. Curing	4	6 - 8	-	CC										6.0	24.0	

ตารางที่ 2 แผนการผลิตประจำวันด้วยวิธีแบบหล่อหมุนเวียนเลนเดียว (SLCP)

Routines	Lane	Row	Workers	Machines	Daily working hours								Non-WH 9 - 24	Productivity (Pallets/hour)	Start (Hour)	Finish (Hour)
					1	2	3	4	5	6	7	8				
1. Stripping	1	5 - 7	G1	GC										6	0.0	3.0
2. Storage	Stockyard		G1	GC, TL										6	0.0	3.0
3. Cleaning	3	6 - 8	G2	SS										9	1.0	3.0
4. Shuttering	3	2 - 5	G2	GC										9	1.0	3.0
5. Placing	4	2 - 5	G3	GC, SS										6	2.0	5.0
6. Pouring	4	6 - 8	G4	AR										9	3.0	5.0
7. Trowelling	2 - 3	1 - 9	G4	TR										4.5	4.0	8.0
8. Curing	1	2 - 4	-	CC											6.0	24.0

ชั่วโมงที่ 1: เป็นการ Stripping ที่ประจำอยู่ที่เลนที่ 1 แถวที่ 5 ถึง 7 ถัดจากหอ CC นั้นเอง และถูกยกเอียงต่อด้วยเครื่อง TL ที่อยู่ประจำที่เลนที่ 1 แถวที่ 8 เพื่อให้ GC ยกชิ้นงานนำไปกองเก็บที่ลานเก็บ

ชั่วโมงที่ 2: โตะหล่อวางแปลจะถูกลำเลียงต่อไปสู่เลนที่ 3 แถวที่ 6 ถึง 8 เพื่อทำ Cleaning ไปที่โต๊ะโต๊ะตามลำดับ โดยมีระยะห่างที่ปลอดภัยจากเลนที่ 1 ที่กำลังมีการทำงานของเครื่องจักร GC และ TL

ชั่วโมงที่ 3: โตะหล่อที่สะอาดแล้วจะถูกลำเลียงต่อไปสู่เลนที่ 3 แถวที่ 2 ถึง 5 เพื่อทำ Shuttering ที่โต๊ะโต๊ะตามลำดับเช่นกัน ตำแหน่งของขั้นตอนนี้จะอยู่ห่างที่ปลอดภัยจากเครื่อง GC และ TL อีกทั้งยังอยู่ภายใต้หลังคาของ Workshop จึงสะดวกสบายต่อการทำงาน

ชั่วโมงที่ 4: ต่อจากนั้นทำ Placing ที่เลนที่ 4 แถวที่ 2 ถึง 5 ซึ่งอยู่เคียงข้างกับขั้นตอน Shuttering ก่อนหน้าและอยู่ภายใต้ Workshop เช่นกัน เหมาะสำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดรอบคอบ และสามารถใช้ GC ช่วยงานได้เต็มที่ ในการยกเหล็กเส้นต่าง ๆ วางบนโต๊ะหล่อ เนื่องจาก GC เสร็จสิ้นการช่วย Stripping แล้ว

ชั่วโมงที่ 5: ถัดไปคือการ Pouring โดยโตะหล่อจะถูกลำเลียงต่อมาถึงเลนที่ 4 แถวที่ 6 ถึง 8 ซึ่งเป็นเลนที่อยู่ติดกับ Access Road จึงทำให้สามารถเทคอนกรีตสดจากรถขนคอนกรีตลงสู่โตะหล่อได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้ Ramp อีกทั้งยังไม่ต้องการใช้เครื่อง CS ดังที่ต้องใช้ในวิธี MLCP ซึ่งเป็นการขนถ่ายคอนกรีตเข้าช้อน จึงเพิ่มประสิทธิภาพในการเทคอนกรีตขึ้นได้มาก

ชั่วโมงที่ 6 ถึง 7: หลังจากการเทคอนกรีตแล้ว โตะหล่อที่มีชิ้นงานจะถูกลำเลียงต่อมาพักไว้ที่เลนที่ 2 ตั้งแต่แถวที่ 1 ถึง 9 เมื่อเต็มสล็อตแล้วจึงลำเลียงไปไว้ที่เลนที่ 3 จนเต็มทุกสล็อตทั้ง 18 สล็อต จากนั้นชิ้นงานจะถูกพักทิ้งไว้เป็นระยะเวลาสัก

หนึ่งชั่วโมง จึงทำ Trowelling ด้วยเครื่อง TR จำนวน 2 เครื่องที่ประจำแต่ละเลนที่เลนที่ 2 และ 3 เครื่อง TR จะสามารถเดินไล่ขัดหน้าชิ้นงานของแต่ละโตะหล่อได้โดยสะดวกไม่ทับซ้อนกับเครื่อง CS ดังเช่นของวิธี MLCP ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่สำคัญของวิธี MLCP

ชั่วโมงที่ 8 ถึง 24: จากนั้นโตะหล่อจะถูกเคลื่อนย้ายต่อไปด้วย DMR และ SS เพื่อลำเลียงเข้าสู่ CC ตามลำดับจนครบหมดทุกโตะ และ Curing ไว้ข้ามคืนจนเป็นวันทำงานถัดไป จึงวนสู่รอบการผลิตใหม่

3.4 การเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบกระบวนการผลิต

จากกระบวนการผลิตทั้ง 2 วิธีดังกล่าว สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างได้ว่าความต้องการใช้จำนวนเครื่องจักรแต่ละชนิดไม่เท่ากัน แต่สิ่งอำนวยความสะดวกบางอันจะใช้จำนวนเท่ากัน ดังนั้นหากนำข้อมูลราคาเครื่องจักรแต่ละชนิดมาคำนวณเปรียบเทียบ (ละเว้นราคาส่งอำนวยความสะดวกที่ความต้องการใช้เท่ากัน) จึงประมาณเงินลงทุนที่แตกต่างกันได้ดังตารางที่ 3

วิธีแบบหล่อหมุนเวียนพร้อมกันหลายเลน (MLCP) เป็นวิธีที่ใช้หลักการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ และเพิ่มกำลังผลิตให้สูงขึ้นด้วยการจัดวางเลนการผลิตพร้อมกัน 3 เลน อย่างไรก็ตามเนื่องจากการผลิตพร้อมกันจะทำงานขั้นตอนเดียวกันพร้อม ๆ กันทำให้ต้องการใช้เครื่องจักรชนิดเดียวกันหลายเครื่อง จึงทำให้เงินลงทุนสูงขึ้นด้วย และยิ่งอาจเกิดการแย่งใช้งาน GC ที่มีเพียง 1 เครื่องที่ต้องคอยบริการทั่วทั้งลานหล่อและวิธีนี้ยังทำให้คนงานต้องอยู่ใกล้กับเครื่องจักรที่กำลังทำงานที่สล็อตข้าง ๆ และอาจได้รับอันตรายได้ นอกจากนี้แบ่งพื้นที่ลานหล่อออกเป็น 3 เลนการผลิตทำให้ระยะทางของวงรอบของวิธี MLCP นี้สั้นกว่า SLCP มาก หรือโตะหล่อเคลื่อนที่จริงได้น้อย จะใช้งาน DMR ได้ไม่คุ้มค่า ในทางตรงข้ามคนงานจะต้องเป็นฝ่ายเคลื่อนที่ไปที่แต่ละโตะหล่อเองมากกว่า จึงทำ

ให้ประสิทธิภาพต่ำลง ข้อเสียสำคัญของ MLCP คือจุดอับของขั้นตอน Pouring อันเนื่องจากข้อจำกัดของรูปร่างพื้นที่ลานหล่อที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมแคบยาว ทำให้ต้องใช้เครื่อง CS ถึง 3 เครื่องและ Ramp ในการเข้าถึงโต๊ะหล่อของแต่ละเลน และจะทำให้ประสิทธิภาพของขั้นตอน Pouring ต่ำกว่าการเทจากรถขนส่งโดยตรงในวิธี SLCP

วิธีแบบหล่อหมุนเวียนเส้นเดียว (SLCP) เป็นวิธีที่พัฒนาต่อจาก MLCP เพื่อปรับแก้ข้อด้อย วิธี SLCP จึงมีระดับการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติมากกว่า เนื่องจากมีเส้นการผลิตเพียงเส้นเดียว คนงานจึงถูกจัดแบบ Specialized production ได้จริง และแบ่งเป็น Working station ต่าง ๆ ที่ชัดเจนสำหรับแต่ละ routines จึงเกิดการเคลื่อนที่ของคนงานน้อยกว่า แต่โต๊ะหล่อเคลื่อนที่มากกว่าหรือด้วยวงรอบที่ยาวที่สุด ซึ่งส่งผลให้แต่ละ Working station มีระยะห่างกันที่ปลอดภัยต่ออันตรายจากเครื่องจักรข้างเคียงได้ และยังใช้จำนวนเครื่องจักรน้อยกว่าหรือใช้เครื่องจักรแต่ละตัวมากกว่าคัมค่ากว่าอีกด้วย นอกจากนี้ยังทำให้สามารถจัดพื้นที่ให้ขั้นตอน Placing อยู่ใน Workshop ได้จึงเพิ่มประสิทธิภาพ อีกทั้งขั้นตอน Storage ถูกจัดไว้ให้ใกล้กับ Stockyard ทำให้ GC เคลื่อนที่ใกล้ขึ้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยมากขึ้น การผลิตเพียงเส้นเดียวยังทำให้ไม่แย่งกันใช้เครื่องจักรตัวเดียวกัน เพราะที่ขณะเวลาหนึ่งแต่ละ Working station จะทำงานเฉพาะของตนเองด้วยการใช้เครื่องจักรเฉพาะของขั้นตอนนั้นด้วย

แผนธุรกิจของโรงหล่อใหม่ที่วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางธุรกิจให้กับบริษัทร่วมโครงการ โดยประเมินศักยภาพของบริษัทและใช้สมมติฐานเป็นสถานการณ์แข่งขันของธุรกิจ สถานการณ์เลวร้าย (Worst case scenario) ด้วยอัตราการผลิตเพียง 35% ของกำลังผลิต (กำลังการผลิตสูงสุด 6,000 ตร.ม./เดือน) และสมมติให้ราคาขายสินค้าและต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 5% (แสดงในตารางที่ 4) ได้ผลพบว่า ภายใน 5 ปีของการดำเนินธุรกิจจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ประมาณ 3.9 ล้านบาท ด้วยอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR) ประมาณ 8.4 % และมีระยะเวลาในการคุ้มทุน (PB) ประมาณ 4 ปี 2 เดือน และสัดส่วนโครงสร้างต้นทุนดังรูปที่ 6 แต่หากพิจารณาในสถานะที่น่าจะเป็นทั่วไปด้วยอัตราการผลิตเพียง 50% ของกำลังผลิต จะได้ NPV = 41.5 ล้านบาท, IRR = 36.7% ที่เวลา 5 ปี และ PB = 2 ปี 4 เดือน ซึ่งแสดงให้เห็น

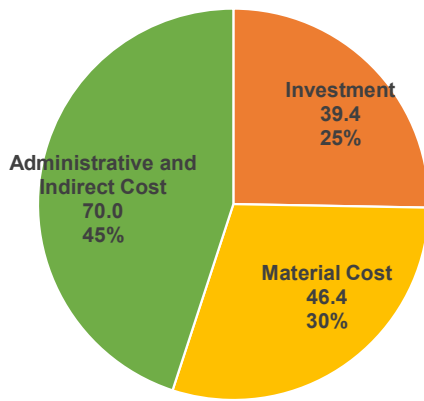
ว่าโรงหล่อใหม่นี้เป็นธุรกิจที่มีผลตอบแทนสูงมากและมีความเสี่ยงต่ำ ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลของแผนธุรกิจสามารถช่วยในการตัดสินใจลงทุนได้อย่างมั่นใจว่าบริษัทจะได้รับผลตอบแทนคุ้มค่ากับการลงทุน

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณเครื่องจักรที่ต้องการใช้

Machines & facilities	Unit Cost (Mil. Baht /set)	Quantity	
		MLCP	SLCP
GC	0.99	1	1
CS	0.25	3	0
TR	0.42	3	2
DMR (x36)	5.41	1	1
SS	0.20	2	2
CC	0.29	3	3
TL	0.83	1	1
Ramp	0.33	1	0
Pallet	0.22	24	18
Access road (sq.m.)		1100	1100
Casting yard (sq.m.)		1440	1440
Stockyard (sq.m.)		210	210
Workshop (sq.m.)		900	900
Total machine investment (Million Baht)		16.10	13.30

ตารางที่ 4 การประมาณกระแสเงินสดของการลงทุนธุรกิจโรงหล่อใหม่

	Yr.0	Yr.1	Yr.2	Yr.3	Yr.4	Yr.5
Product Sales		30.2	31.8	33.3	35.0	36.8
Total Net Sales		30.2	31.8	33.3	35.0	36.8
Material Cost		8.4	8.8	9.3	9.7	10.2
Gross Profit		21.9	22.9	24.1	25.3	26.6
Administrative and Indirect Cost		13.2	13.9	14.6	15.3	13.1
Operating Income		8.7	9.1	9.5	10.0	13.4
Investment as Construction	-29.8					
Investment as Land	-9.6					
Net Cash flow	-39.4	8.7	9.1	9.5	10.0	13.4
Net Cum CF	-39.4	30.7	21.7	12.1	-2.1	11.3



รูปที่ 6 โครงสร้างต้นทุน (ล้านบาท) ในการดำเนินธุรกิจภายใน 5 ปี

4. สรุปผลการศึกษา

เทคโนโลยีการก่อสร้างนอกสถานที่ที่จะเข้ามาแทนที่การก่อสร้างแบบดั้งเดิมภายในอนาคตอันใกล้และจะพลิกโฉมงานก่อสร้างให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อให้บริษัทก่อสร้าง SMEs สามารถมีส่วนร่วมกับการเปลี่ยนแปลงนี้ โรงหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบใหม่ที่ใช้เงินลงทุนต่ำจึงถูกออกแบบและนำเสนอในบทความนี้

การออกแบบโรงหล่อจะต้องสอดคล้องกับลักษณะพื้นที่ตั้ง โดยควรเป็นที่ดินรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบยาวที่มีด้านยาวมากกว่าด้านกว้างมาก ๆ เพื่อให้จัดวางตำแหน่งการทำงานไปตามความยาวของสายการผลิต และเกิดประสิทธิภาพของการใช้เครื่องจักรสูง คุณลักษณะและจำนวนของเครื่องจักรสำคัญต่าง ๆ ต้องถูกออกแบบให้สอดคล้องกับกระบวนการผลิตซึ่งสัมพันธ์กับการจัดวางผังของโรงหล่อ นอกจากนี้ยังควรวางแผนการผลิตให้เป็นวงจรประจำวันเพื่อให้เกิดการทำงานที่สอดคล้องกันเป็นจังหวะที่เหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพสูง จะเห็นได้ว่าการออกแบบโรงหล่อใหม่เองที่ผสมผสานข้อดีของระบบกึ่งอัตโนมัติที่เป็นเชิงพาณิชย์จากต่างประเทศและข้อดีของระบบการผลิตแบบดั้งเดิมอย่างเหมาะสม โดยวิธี SLCP จะเป็นรูปแบบการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเพราะทำให้เกิดลักษณะการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติสูงและใช้เงินลงทุนต่ำที่สุดเนื่องจากต้องการใช้จำนวนเครื่องจักรน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบเงินลงทุนสำหรับการก่อตั้งโรงหล่อกึ่งอัตโนมัติด้วยการซื้อเทคโนโลยีจากต่างประเทศจะต้องใช้เงินลงทุนมากกว่าประมาณ 70 เท่า ทำให้ผลลัพธ์ของการออกแบบกระบวนการผลิตใหม่นี้จะสามารถลดเงินลงทุนที่ต้องการให้ต่ำ

กว่าการซื้อจากต่างประเทศได้อย่างมาก จึงสร้างความเป็นไปได้ของธุรกิจใหม่ให้กับบริษัทก่อสร้างขนาดกลางและย่อม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการการพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการ SMEs มุ่งสู่ผู้ประกอบการที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สอ.ว.)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kieran S, Timberlake J. *Refabricating Architecture*. New York: McGraw-Hill, 2004.
- [2] National Institute of Building Sciences. Report of the Results of the 2014 Off-Site Construction Industry Survey. Available from: <https://www.nibs.org/reports/report-results-2014-site-construction-industry-survey> [Accessed 19th February 2023].
- [3] Pan W, Sidwell R. Demystifying the cost barriers to offsite construction in the UK. *Construction Management and Economics*. 2011; 29(11) : 1081–1099.
- [4] Razkenari M, Fenner A, Shojaei A, Hakim H, Kibert C. Perceptions of offsite construction in the united states: An Investigation of current practices. *Journal of Building Engineering*. 2020; 29: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101138>.
- [5] Wanaphongtipakorn T. Analysis of marketing mix: 7P of precast condominium in Nakhonratchasima province. Independent Study Report. Suranaree University of Technology; 2022.
- [6] Chotbumlungpong P, Naburana W, Benjaoran V. Factors affecting customer attitude towards purchasing condominiums constructed with precast concrete wall system in Nakhonratchasima province. *Proceedings of the 22nd National Graduate Conference; 2022 July 4, Sripatum University*. 2022.

- [7] Warszawski A. *Industrialization and Robotics in Building: A Managerial Approach*. Harpercollins College Div, 1990.
- [8] Han C, Li QN, Wang X, Jiang WS, Li W. Research on rotation capacity of the new precast concrete assemble beam- column joints. *Steel and Composites Structures*. 2016;22(3):613-625.
- [9] India Precast, 2023; Welcome to IndiaPrecast, Available from: www.indiaprecast.com [Accessed 20th February 2023].
- [10] Vollert Group, 2023; Vollert Gruppe, Available from: www.vollert.de [Accessed 20th February 2023].
- [11] Weckenmann Anlagentechnik GmbH & Co. KG., 2023; Weckenmann Anlagentechnik, Available from: www.weckenmann.com [Accessed 20th February 2023].